

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-13960

(P2003-13960A)

(43)公開日 平成15年1月15日 (2003.1.15)

(51)Int.Cl.⁷

F 16 C 33/32
B 23 Q 1/40
11/12
F 16 C 33/44
33/62

識別記号

F I

F 16 C 33/32
B 23 Q 11/12
F 16 C 33/44
33/62

B 23 B 19/02

デーラード(参考)

3 C 0 1 1
E 3 C 0 4 5
3 C 0 4 8
3 J 1 0 1

B

審査請求 未請求 請求項の数 7 OL (全 10 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号

特願2001-195069(P2001-195069)

(22)出願日

平成13年6月27日 (2001.6.27)

(71)出願人 000004204

日本精工株式会社

東京都品川区大崎1丁目6番3号

(72)発明者 鵜本 大綱

神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号
日本精工株式会社内

(72)発明者 斎藤 剛

神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号
日本精工株式会社内

(74)代理人 100066980

弁理士 森 哲也 (外2名)

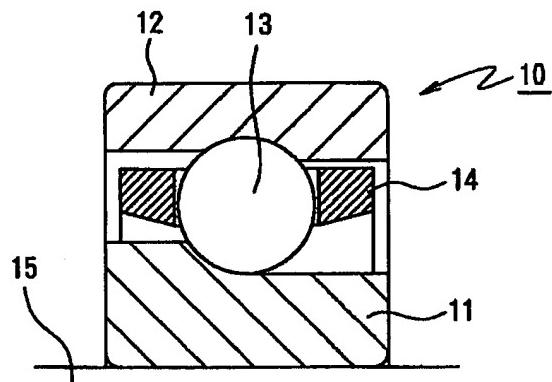
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高速回転用転がり軸受

(57)【要約】

【課題】 低トルク化および低発熱化を実現できるのは勿論のこと、高速回転下での耐焼付性および耐摩耗性の向上を図る。

【解決手段】 内輪11と外輪12との間に複数の玉13が保持器14を介して配設されると共に、内輪軌道面、外輪軌道面、玉13および保持器14の内の少なくとも一つの母材表面が鋼で形成され、且つ、該母材の表面上にDLC膜が形成された高速回転用アンギュラ玉軸受であって、 DLC膜は、金属成分の中間層と炭素成分の複合層と炭素層とを備え、前記複合層は、前記中間層から前記炭素層に向けて連続的に組成が変化する傾斜層であり、且つ、該DLC膜の塑性変形硬さを8~35GPaとする。



1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 内輪と外輪との間に複数の転動体が保持器を介して配設されると共に、内輪軌道面、外輪軌道面、転動体および保持器の内の少なくとも一つの母材表面が鋼で形成され、且つ、該母材の表面上にダイヤモンドライクカーボン膜が形成された高速回転用転がり軸受であって、

前記ダイヤモンドライクカーボン膜は、金属成分の中間層と炭素成分の複合層と炭素層とを備え、前記複合層は、前記中間層から前記炭素層に向けて連続的に組成が変化する傾斜層であり、且つ、該ダイヤモンドライクカーボン膜の塑性変形硬さが8～35GPaであることを特徴とする高速回転用転がり軸受。

【請求項2】 前記ダイヤモンドライクカーボン膜の等価弾性係数が100～280GPaであることを特徴とする請求項1記載の高速回転用転がり軸受。

【請求項3】 前記ダイヤモンドライクカーボン膜の膜厚が0.1～5μmであることを特徴とする請求項1又は2に記載の高速回転用転がり軸受。

【請求項4】 グリース潤滑、オイルエアー潤滑、オイルミスト潤滑又は直噴式の微量油潤滑等の微量油潤滑環境下で使用されることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の高速回転用転がり軸受。

【請求項5】 前記転動体の素材がセラミックスであることを特徴とする請求項1～4のいずれか一項に記載の高速回転用転がり軸受。

【請求項6】 前記外輪及び／又は内輪の母材が耐熱軸受用鋼であることを特徴とする請求項1～5のいずれか一項に記載の高速回転用転がり軸受。

【請求項7】 工作機械の主軸に用いることを特徴とする請求項1～6のいずれか一項に記載の高速回転用転がり軸受。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、工作機械の主軸等に用いられる高速回転用転がり軸受に関し、特にグリース潤滑、オイルエアー潤滑、オイルミスト潤滑又は直噴式の微量油潤滑等の微量油潤滑環境下で使用するのに適な高速回転用転がり軸受に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、工作機械は加工効率向上のために主軸の高速化の要求が強く、これに伴い主軸用の転がり軸受の使用回転速度も上昇しつつある。また同時に、加工精度向上のために軸受の低発熱化が求められている。一般に、アンギュラ玉軸受が高速回転すると、転動体（玉）と軌道面の接触部において、スピンドル運動やジャイロ運動による大きな滑りが生じる。また、内輪や玉に作用する遠心力や、内外輪温度差に起因する軸受内部隙間の減少によって、玉と軌道面との接触面圧が増加する。このような接触部での滑りや面圧の増大は、発熱による

温度上昇や焼付き、さらに過大な摩耗の進行など種々の不具合を生じさせる。

【0003】 上記不具合を抑える対策として、玉径を小さくしたり、あるいは玉の材質を軽量のセラミックスにしたりして、玉の遠心力による面圧の増大を軽減することが行われている。また、特開昭62-24025号公報には、内輪の材料を外輪の材料よりも線膨張係数の小さい材料とすることにより、軸受内部隙間の変化を抑制する方法が開示されている。

【0004】 更に、特開2000-145749号公報や特開平11-270564号公報には、軸受内部諸元を最適設計にすることによって、超高速・高剛性・低発熱の軸受を実現する方法が開示されている。そして、このような対策を施された転がり軸受を工作機械の主軸等に適用すれば、許容回転速度を示すDmN値が（Dm：転動体ピッチ径mm, N：回転速度min⁻¹）が最大350万程度まで運転可能とされている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、転がり軸受の使用回転速度はますます上昇する傾向にあり、上記開示された技術のみでは更なる高速化、低発熱化は難しい。特に工作機械用軸受は、低トルク化、低発熱化を目的として、グリース潤滑、オイルエアー潤滑、オイルミスト潤滑或いは直噴式の微量油潤滑等の微量油潤滑で使用される。すなわち、高速回転下でわずかな量の潤滑油により潤滑する。そのため、DmN値が約200万を超える高速回転の場合、玉と軌道面の接触部において油膜が破断して玉と軌道面が直接接触し易く、焼付きや摩耗などの損傷が生じ易くなるという問題が生じている。特にグリース潤滑は、オイルエアー潤滑やオイルミスト潤滑に比べて、油膜が形成されにくいため許容回転速度は低くなる。

【0006】 本発明はこのような不都合を解消するためになされたものであり、低トルク化および低発熱化を実現できるのは勿論のこと、高速回転下での耐焼付性および耐摩耗性の向上を図ることができる高速回転用転がり軸受を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、請求項1に係る発明は、内輪と外輪との間に複数の転動体が保持器を介して配設されると共に、内輪軌道面、外輪軌道面、転動体および保持器の内の少なくとも一つの母材表面が鋼で形成され、且つ、該母材の表面上にダイヤモンドライクカーボン膜が形成された高速回転用転がり軸受であって、前記ダイヤモンドライクカーボン膜は、金属成分の中間層と炭素成分の複合層と炭素層とを備え、前記複合層は、前記中間層から前記炭素層に向けて連続的に組成が変化する傾斜層であり、且つ、該ダイヤモンドライクカーボン膜の塑性変形硬さが8～35GPaであることを特徴とする。

【0008】請求項2に係る発明は、請求項1において、前記ダイヤモンドライクカーボン膜の等価弾性係数が100～280GPaであることを特徴とする。請求項3に係る発明は、請求項1又は2において、前記ダイヤモンドライクカーボン膜の膜厚が0.1～5μmであることを特徴とする。請求項4に係る発明は、請求項1～3のいずれか一項において、グリース潤滑、オイルエラー潤滑、オイルミスト潤滑又は直噴式の微量油潤滑等の微量油潤滑環境下で使用されることを特徴とする。

【0009】請求項5に係る発明は、請求項1～4のいずれか一項において、前記転動体の素材がセラミックスであることを特徴とする。請求項6に係る発明は、請求項1～5のいずれか一項において、前記外輪及び／又は内輪の母材が耐熱軸受用鋼であることを特徴とする。請求項7に係る発明は、請求項1～6のいずれか一項において、工作機械の主軸に用いることを特徴とする。

【0010】ここで、中間層の金属成分としては、母材の鋼の含有成分や構成元素の原子半径が類似しているものであれば特に限定されないが、例えば、Cr、W、Ti、Si、Ni、Fe、Coなどが挙げられる。その中でも母材がステンレス鋼や軸受鋼の場合は、Cr、Niなどが望ましく、鋼の含有成分によってはSi、W、Coなどを適宜選ぶことができる。

【0011】ダイヤモンドライクカーボン（以下、DLCという）の成膜法としては、非平衡型マグネットロンスパッタリングやパルスレーザーアーク蒸着法、プラズマCVDなどが挙げられ、その中でも等価弾性係数および塑性変形硬さを独立に制御しやすい非平衡型マグネットロンスパッタリング法が望ましい。DLC膜の塑性変形硬さの測定は、（マイクロ）ピッカース硬度計ではなく、静電容量型で制御できる微小硬度計およびナノインテンデータを用いるのが望ましい。なお、このときの押し込み探査はDLC膜の膜厚範囲内とする必要がある。等価弾性係数の測定も同様に微小硬度計およびナノインテンデータを使用し、荷重－除荷曲線の弾性変形量から等価弾性係数を求めるのが望ましい。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図を参照して説明する。図1は本発明の実施の形態の一例であるアンギュラ玉軸受を説明するための説明的断面図、図2はDLC膜の等価弾性係数と塑性変形硬さと破壊強度との関係を示すグラフ図、図3は炭素、クロム、鉄の元素比率とDLC膜厚との関係を示すグラフ図、図4はDLC膜の拡大断面図、図5は本発明の他の実施の形態である円筒ころ軸受を説明するための説明的断面図、図6～図9は比較例および本発明例における軸回転速度と外輪温度上昇との関係を示すグラフ図、図10は軸受回転試験機の概略図、図11および図12は比較例および本発明例における軸回転速度と外輪温度上昇との関係を示すグラフ図である。

【0013】まず、図1を参照して、本発明の実施の形態の一例であるアンギュラ玉軸受（高速回転用転がり軸受）を説明すると、このアンギュラ玉軸受10は、内輪11と外輪12との間に複数のセラミック製玉（転動体）13が保持器14を介して配設されており、内輪11および外輪12共に鋼製とされて内輪11が回転軸15に嵌着されている。そして、内輪11の軌道面と外輪12の軌道面にDLC膜が形成されている。なお、保持器14は外輪案内方式とされている。

【0014】このDLC膜は、図4を参照して、Cr、W、Ti、Si等の金属成分からなる中間層と炭素層との間の界面をなくして中間層と炭素層との間に中間層から炭素層に向けて連続的に組成が変化する傾斜組成の複合層（傾斜層）を形成し、且つ、塑性変形硬さを8～35GPaとしたものである。DLC膜の成膜方法としては、非平衡型スパッタリング法、プラズマCVD法があり、例えば、神戸製鋼所社製のアンバランスドマグネットロンスパッタリング装置（UBMS装置504）、神港精機社製の熱陰極プラズマCVD装置（PIG式薄膜作製装置）を用いてDLC膜を作成するのが好ましい。

【0015】例えば、UBMS装置504は、スパッタに用いるターゲットを複数装着し、中間層と炭素層のターゲットのスパッタ電源を独立に制御することによって、中間層のスパッタ効率を連続的に減少させながら、炭素層のターゲットのスパッタ効率を増加させて複合層を形成する。ターゲットのスパッタ電源はDC電源を用いて制御し、母材にはバイアス電圧を印加してスパッタ効率を同時に制御する。DLC膜の膜厚はスパッタ時間でコントロールでき、中間層および複合層の膜厚比率と全膜厚を精度よく制御することができる。このDLC膜の成膜時にアルゴン、水素あるいはCH₄などの炭化水素系ガスを導入すれば、DLC膜表面の摺動抵抗をコントロールすることが可能で、混合ガスあるいはそれらを単独で導入し、目的にあった膜組成を形成することができる。

【0016】図2にDLC膜の等価弾性係数と塑性変形硬さと破壊強度との関係を示す。なお、破壊強度については、図示しないスラスト耐久試験機を用い、2GPaのヘルツ接触応力を負荷した条件で総繰り返し応力の回数が10⁶に至った時点でのDLC膜の剥離の有無で評価した。また、試験条件は、回転速度8000m iⁿ⁻¹、グリース潤滑とした。

【0017】図2から明らかなように、DLC膜の塑性変形硬さが8～35GPaと母材より硬く、且つ、DLC膜の等価弾性係数が100～280GPaと母材の等価弾性係数よりも小さい領域で高い破壊強度を得ることができた。DLC膜の塑性変形硬さが8GPa未満では摩耗が大きくなり、35GPaを超えると脆性破壊が起これやすくなる。また、DLC膜の等価弾性係数が100GPa未満ではDLC膜の表面硬さが低下して大きな

接触応力に対して摩耗が生じやすくなり、280GPaを超えるとDLC膜の等価弾性係数が母材(鋼)の等価弾性係数より大きくなつて大きな接触応力に対して鋼が DLC膜より先に変形するため、繰返し応力によって DLC膜が破壊される問題が生じる。

【0018】なお、塑性変形硬さ(H)と等価弾性係数(E)の比は(H/E)が0.08~0.16が好ましく、また、複合層はDLC膜の全膜厚の1~9% (より望ましくは5~50%) であつて、DLC膜の最表面は炭素元素比率が100%である。等価弾性係数および塑性変形硬さの測定はフィッシャー社製の微小硬度計を用い、等価弾性係数については、押し込み荷重20mN、押し込み深さ0.15~0.5μmの条件で、荷重一除荷曲線から求めることができる。なお、1μm以下の薄膜を測定するときは、押し込み荷重を0.4~20mNに適宜設定し、押し込み深さが少なくともDLC膜の範囲内とすることが望ましい。

【0019】この他にエリオニクス社製の微小硬度測定装置を用いても同様に等価弾性係数を求めることができる。また、複合層の厚さは、X線光電子分光分析機(以下、XPSという)を用いて測定することができる。これは試料表面にX線を照射し、試料の最外表面(約数オングストローム)より放出される光電子のエネルギー解析によって試料表面の元素の情報(定性、定量)及び結合状態を得るが、更に高速アルゴンイオン銃を用いて試料表面をスパッタしながら測定を行うことにより、元素の深さ方向(即ち、試料表面下)の分布状態の解析を可能としたものである。

【0020】図3に炭素、クロム、鉄の元素比率とDLC膜厚との関係を示す。UBMS装置504によって成膜されたDLC膜の複合層の厚み測定は、例えば、XPSを用いて試料のデプスプロファイルをとり、DLC膜中の炭素、クロム、鉄の光電子強度の変化を元素比率で表して複合層を判別し、エッチング速度30nm/miⁿで、エッチング速度とそれに要した時間から複合層の厚みに換算する。

【0021】また、DLC膜の厚さは、0.1~5μmが望ましく、好適には0.5~3μmである。DLC膜が0.1μmより薄い膜厚では母材表面の露出が大きくなつてDLC膜の性能が低減される結果、摺動性および耐摩耗性の向上効果が小さくなる。一方、DLC膜の膜厚が5μmより厚いと、被膜内の内部応力が大きくなり母材との密着性が損なわれる。

【0022】DLC膜が施される母材となる軌道輪の金属材料、すなわち軸受用鋼としては、2次硬化析出型の共晶炭化物を形成した材料(例えば高速度鋼、セミハイスク、マルテンサイト系ステンレス鋼)、および構成元素成分によって焼き戻し抵抗性を向上させて寸法を安定化させた材料(高炭素クロム鋼に準ずる材料)が好適である。例えば前者では、SKD、SKH、SUS440C

材などがあり、後者では耐熱仕様軸受用鋼として、例えば、少なくともSi:0.7~1.5重量%、Cr:0.5~2.0重量%、Mo:0.5~2.0重量%を含有し、表面に浸炭窒化処理を予め施した材料の他M50、M50NIL材が具体的に挙げられる。

【0023】なお、軌道輪の金属材料に、一般的な軸受鋼(SUJ2)を用いることも可能であり、その場合、焼き戻し温度を120~400°C、望ましくは180~330°C、さらに望ましくは180~260°Cにする。焼き戻し温度が120°Cより低いとDLC膜処理温度(120~130°C)によって、軸受が変形し、400°Cより高いと著しく表面硬さが低下する。したがって、DLC膜の成膜処理によって軸受が変形せず、HRC50以上の表面硬さを付与するためには、前述の焼き戻し温度範囲であることが望ましい。

【0024】DLC膜が形成される母材の下地処理としては、窒化処理の中でもガス窒化、イオン窒化、イオン注入などが好適であり、窒素の含有量を適宜にコントロールすることが望ましい。例えば、これらの窒化物層の厚さは、拡散層として0.1~60μmが望ましく、さらに窒素濃度として0.1~0.8%が好適である。0.1%未満では表層部の摺動性に乏しく、一方、0.8%より多いと表面の窒素濃度が高いため、反応析出物の下地との密着性が損なわれる。

【0025】上記構成のDLC膜が有効な理由は、転動体に使用される窒化珪素などのセラミックスと同等表面硬さを有しており、軌道輪の母材の金属より耐焼付性および耐摩耗性に優れ、また、潤滑特性に優れ、摩擦係数が低く、破壊強度が高いためである。更に、低トルクおよび低発熱の性能が要求される転がり軸受に上記DLC膜を形成することにより、該性能の向上を図ることができる。

【0026】そして、内外軌道輪に上記DLC膜が形成されたアンギュラ玉軸受を工作機械の主軸等に装着し、潤滑油のせん断抵抗や攪拌抵抗を小さくして高速回転下での低トルク化および低発熱化を実現すべく、グリース潤滑、オイルエア潤滑、オイルミスト潤滑又は直噴式の微量油潤滑等の微量油潤滑環境下で使用した場合に、玉と軌道面の接触部において油膜が破断して玉と軌道面が直接接触しても、DLC膜自体による低トルクおよび低発熱特性と耐焼付性および耐摩耗性の向上効果とが相まって焼付きや摩耗などの損傷が発生するのを良好に防止することができる。

【0027】なお、上記実施の形態では、内外輪11、12の軌道面にDLC膜を形成した場合を例に採ったが、必要に応じて内輪11の外径面の全面、外輪12の内径面の全面にDLC膜を形成してもよく、内輪11、外輪12の一方のみにDLC膜を形成してもよい。また、内輪11の全面、外輪12の全面にDLC膜を形成してもよく、保持器14にDLC膜を形成してもよい。

更には、鋼製の転動体13を使用して、その全面にDLC膜を形成するようにしてもよい。

【0028】更に、上記実施の形態では、高速回転用軸がり軸受としてアンギュラ玉軸受を例に採ったが、これに代えて、図5に示すような円筒ころ軸受を本発明を適用してもよい。この円筒ころ軸受（高速回転用軸がり軸受）20は、内輪21と外輪22との間に複数のころ（転動体）23が保持器24を介して配設されており、内輪21、外輪22、ころ23及び保持器24がいずれも鋼製とされて内輪21が回転軸（図示せず）に嵌着されるようになっている。そして、内輪21の外径面に設けられている轨道面と鋼部25端面、外輪22の内径面に設けられている轨道面と保持器24の案内面、ころ23の全面および保持器24の外径面にDLC膜が形成されている。なお、保持器24は外輪案内方式とされている。

【0029】かかる構成の円筒ころ軸受20を工作機械の主軸等に装着し、潤滑油のせん断抵抗や攪拌抵抗を小さくして高速回転下での低トルク化および低発熱化を実現すべく、グリース潤滑、オイルエアー潤滑、オイルミ

スト潤滑又は直噴式の微量油潤滑等の微量油潤滑環境下*

*で使用した場合に、ころ23と鋼部25端面との接触部、保持器24と外輪22の案内面との接触部、ころ23と轨道面との接触部において袖膜が破断してころ23、保持器24と轨道輪が直接接觸しても、上記実施の形態と同様に、DLC膜自体による低トルクおよび低発熱特性と耐焼付性および耐摩耗性の向上効果とが相まって焼きや摩耗などの損傷が発生するのを良好に防止することができる。なお、その他の構成および作用効果は上記実施の形態と略同様であるので、その説明を省略する。

【0030】

【実施例】図6～図8は本発明の上記DLC膜の効果を確認するために、オイルエアー潤滑におけるアンギュラ玉軸受の温度上昇（外輪温度上昇）と焼き付き限界を測定した実験結果を示している。また、表1にこの実験に使用した供試体（軸受仕様）を示している。なお、温度上昇はアンギュラ玉軸受全体が発生する発热量に対応する。

【0031】

【表1】

軸受	被膜材質	内輪被膜厚さ (μm)	外輪被膜厚さ (μm)	塑性変形 硬さ (GPa)	等価弾性 係数 (GPa)	内・外輪 材質	転動体 材質	接触角 (度)	内径 (mm)	外径 (mm)	転動体 ピッチ径 (mm)	転動体 直徑 (mm)
比較例A1	なし	—	—	—	—	SUJ2	Si ₃ N ₄	20	100	160	132.5	12.7
本発明III (神戸製鋼所社製)	DLC	2	—	13	110	SUJ2	Si ₃ N ₄	20	100	160	132.5	12.7
本発明I (神戸製鋼所社製)	DLC	2	2	30	190	SUJ2	Si ₃ N ₄	20	100	160	132.5	12.7
本発明P1 (神港精機社製)	DLC	2	—	12	140	SUJ2	Si ₃ N ₄	20	100	160	132.5	12.7
本発明Q1 (神港精機社製)	DLC	2	2	17	160	SUJ2	Si ₃ N ₄	20	100	160	132.5	12.7

【0032】この実験においては、SUJ2からなりかつ内径が100mmの内輪と、SUJ2からなり且つ外径が160mmの外輪と、Si₃N₄からなるセラミック転動体（転動体ピッチ径：132.5mm）とをそれぞれ備えた複数のアンギュラ玉軸受を供試体として用いている。なお、保持器は外輪案内方式を採用している。図10に試験装置の概略を示す。図10において符号31は供試体としての高速回転用軸がり軸受であり、左側がアンギュラ玉軸受、右側が円筒ころ軸受（後述する）である。また、符号32は主軸、33は駆動力伝達用のブーリ、34は測温用の熱電対である。

【0033】図6～図8に示す実験においては、供試体としてそれぞれのアンギュラ玉軸受に軸方向に沿って1470Nの荷重を作用させているとともに、アンギュラ玉軸受の潤滑方法としてVG22オイルを潤滑材としたオイルエアー潤滑を用いている。なお、VG22オイルはJIS（日本工業規格）K2211などに定義されている潤滑油である。また、図6～図8の縦軸の外輪温度上昇の値は、外輪外径面に熱電対34を接触させて外輪

温度を計測した結果を外輪温度上昇（外輪温度－外気温度）に換算して示している。潤滑条件に関しては、0.1cc/時間（図6）、0.675cc/時間（図7）、5.4cc/時間（図8）の3種類についてそれぞれの発明品および従来品（比較例）を使用して実験した。

【0034】図6～図8中に示す本発明N1は、アンギュラ玉軸受の内輪轨道面のみに神戸製鋼所社製のUBMS装置504を用いてDLC膜を成膜したものである。図6～図8中に示す本発明O1は、アンギュラ玉軸受の内輪轨道面および外輪轨道面に神戸製鋼所社製のUBMS装置504を用いてDLC膜を成膜したものである。

【0035】図6～図8中に示す本発明P1は、アンギュラ玉軸受の内輪轨道面のみに神港精機社製のP1G式薄膜作製装置を用いてDLC膜を成膜したものである。図6～図8中に示す本発明Q1は、アンギュラ玉軸受の内輪轨道面および外輪轨道面に神港精機社製のP1G式薄膜作製装置を用いてDLC膜を成膜したものである。

【0036】図6～図8中に示す比較例A1は、DLC

膜を施していない従来のアンギュラ玉軸受である。図6～図8から明らかなように、本発明品N1、O1、P1、Q1はいずれも略同等の性能を示しており、比較例A1に比べて温度上昇（外輪温度上昇）が低く、且つ、焼付き限界も高くなっていることが分かる。したがって、本発明品は、アンギュラ玉軸受の高速化、低温度上昇化に対して有効であることが明らかである。そして、特にDmN値が200万を超えるような領域ではその差は明確*

*となる。

【0037】図9はグリース潤滑におけるアンギュラ玉軸受の温度上昇（外輪温度上昇）と焼付き限界を測定した実験結果を示している。また、このとき使用した供試体を表2に示している。なお、温度上昇はアンギュラ玉軸受全体が発生する発熱量に対応する。

【0038】

【表2】

軸受	被膜材質	内輪被膜厚さ(μm)	外輪被膜厚さ(μm)	塑性変形破壊(GPa)	等価強性係数(GPa)	内・外輪材質	転動体材質	接触角(度)	内径(mm)	外径(mm)	転動体ピッチ径(mm)	転動体直径(mm)
比較例B1	なし	—	—	—	—	SUJ2	Si ₃ N ₄	18	65	100	81.65	7.144
本発明R1 (神戸製鋼所社製)	DLC	2	—	29	230	SUJ2	Si ₃ N ₄	18	65	100	81.65	7.144
本発明S1 (神戸製鋼所社製)	DLC	2	2	13	110	SUJ2	Si ₃ N ₄	18	65	100	81.65	7.144
本発明T1 (神港精機社製)	DLC	2	—	22	240	SUJ2	Si ₃ N ₄	18	65	100	81.65	7.144
本発明U1 (神港精機社製)	DLC	2	2	23	270	SUJ2	Si ₃ N ₄	18	65	100	81.65	7.144

【0039】この実験においては、SUJ2からなりかつ内径が6.5mmの内輪と、SUJ2からなりかつ外径が100mmの外輪と、Si₃N₄からなるセラミックス転動体（転動体ピッチ径：81.65mm）とをそれぞれ備えた複数のアンギュラ玉軸受を供試体として用いている。なお保持器は外輪案内方式を採用している。図9に示す実験においては、供試体としてのそれぞれのアンギュラ玉軸受の組合せ時の定位位置予圧の予圧設定量によって荷重を作成させている（組込み時軸受アキシアル剛性：9.8N/μm）とともに、アンギュラ玉軸受の潤滑方法としてNOKクリューパ社製のイソフレックスNBU15（封入量：軸受空間容積の15%）を潤滑材としたグリース潤滑を用いている。

【0040】また、図9において、外輪外径面に熱電対を接触させて外輪温度を計測した結果を外輪温度上昇（外輪温度一外気温度）に換算して示している。図9に示す本発明R1は、アンギュラ玉軸受の内輪軌道面のみに神戸製鋼所社製のUBMS装置504を用いてDLC膜を成膜したものである。図9に示す本発明S1は、アンギュラ玉軸受の内輪軌道面および外輪軌道面に神戸製鋼所社製のUBMS装置504を用いてDLC膜を成膜したものである。

【0041】図9に示す本発明T1は、アンギュラ玉軸受の内輪軌道面のみに神港精機社製のPIG式薄膜作製装置用いてDLC膜を成膜したものである。図9に示す本発明U1は、アンギュラ玉軸受の内輪軌道面および外輪軌道面に神港精機社製のPIG式薄膜作製装置用いてDLC膜を成膜したものである。図9に示す比較例B1は、DLC膜を施してない従来のアンギュラ玉軸受である。

【0042】図9から、本発明品R1、S1、T1、U1は比較例B1に比べて温度上昇（外輪温度上昇）が低く、且つ、焼付き限界も高くなっていることが分かる。また本発明品R1、S1、T1、U1はいずれも略同等の性能を示しており、内輪軌道面のみにDLC膜を施してもアンギュラ玉軸受の高速化、低温度上昇化に対しては有効であることが分かる。

【0043】図11はオイルエアー潤滑における円筒ころ軸受の温度上昇（外輪温度上昇）と焼き付き限界を測定した実験結果を示している。また、このとき使用した供試体（軸受仕様）を表3に示している。なお、温度上昇は円筒ころ軸受全体が発生する発熱量に対応する。

【0044】

【表3】

11

12

軸受	被膜材質	内輪・鋼部 被膜厚さ (μm)	外輪被膜 厚さ (μm)	塑性変形 硬さ (GPa)	等価弾性 係数 (GPa)	内・外輪 材質	転動体 材質	内径 (mm)	外径 (mm)	転動体 ピッチ径 (mm)
比較例A2	なし	—	—	—	—	合金鋼	合金鋼	70	110	91
本発明N2 (神戸製鋼所社製)	DLC	2	—	13	110	合金鋼	合金鋼	70	110	91
本発明O2 (神戸製鋼所社製)	DLC	2	2	30	190	合金鋼	合金鋼	70	110	91
本発明P2 (神港精機社製)	DLC	2	—	12	140	合金鋼	合金鋼	70	110	91
本発明Q2 (神港精機社製)	DLC	2	2	17	160	合金鋼	合金鋼	70	110	91

【0045】この実験においては、Si : 0.7~1.5重量%、Cr : 0.5~2.0重量%、Mo : 0.5~2.0重量%を含有し、表面に浸炭窒化処理を予め施した耐熱仕様軸受用鋼からなりかつ内径が70mmの内輪と、内輪と同一材料で外径が110mmの外輪と、内輪と同一材料の転動体（転動体ピッチ径：91mm）とをそれぞれ備えた複数の円筒ころ軸受を供試体として用いている。なお、保持器は外輪案内方式を採用している。

【0046】図11に示す実験においては、供試体としてそれぞれの円筒ころ軸受の組み付け時のラジアルすき間を0μmに調整した。また、潤滑方法はVG22オイルを潤滑材としたオイルエア潤滑を用いている。なお、VG22オイルはJIS（日本工業規格）K2211などに定義されている潤滑油である。また、図11に縦軸の外輪温度上昇は、外輪外径面に熱電対34を接触させて外輪温度を計測した結果を外輪温度上昇（外輪温度-外気温度）に換算して示している。また、潤滑条件に関しては、0.0375cc/時間についてそれぞれの発明品および従来品（比較例）を使用して実験した。

【0047】図11中に示す本発明N2は、円筒ころ軸受の内輪軌道面および鋼部端面に神戸製鋼所社製のUBMS装置504を用いてDLC膜を成膜したものである。図11中に示す本発明O2は、円筒ころ軸受の内輪軌道面、鋼部端面および外輪軌道面に神戸製鋼所社製の*

* UBMS装置504を用いてDLC膜を成膜したものである。

【0048】図11中に示す本発明P2は、円筒ころ軸受の内輪軌道面および鋼部端面に神港精機社製のPIG式薄膜作製装置を用いてDLC膜を成膜したものである。図11中に示す本発明Q2は、円筒ころ軸受の内輪軌道面、鋼部端面および外輪軌道面に神港精機社製のPIG式薄膜作製装置を用いてDLC膜を成膜したものである。

【0049】図11中に示す比較例A2は、DLC膜を施してない従来の円筒ころ軸受である。図11から、本発明品N2、O2、P2、Q2はいずれも略同等の性能を示しており、比較品A2に比べて温度上昇（外輪温度上昇）が低く、且つ、焼付き限界も高くなっていることが分かる。したがって、本発明品は、円筒ころ軸受の高速化、低温度上昇化に対して有効であることが明らかである。

【0050】図12はグリース潤滑における円筒ころ軸受の温度上昇（外輪温度上昇）と焼付き限界を測定した実験結果を示している。また、このとき使用した供試体（軸受仕様）を表4に示している。なお、温度上昇は円筒ころ軸受全体が発生する発熱量に対応する。

【0051】

【表4】

軸受	被膜材質	内輪・鋼部 被膜厚さ (μm)	外輪被膜 厚さ (μm)	塑性変形 硬さ (GPa)	等価弾性 係数 (GPa)	内・外輪 材質	転動体 材質	内径 (mm)	外径 (mm)	転動体 ピッチ径 (mm)
比較例B2	なし	—	—	—	—	合金鋼	合金鋼	70	110	91
本発明R2 (神戸製鋼所社製)	DLC	2	—	29	230	合金鋼	合金鋼	70	110	91
本発明S2 (神戸製鋼所社製)	DLC	2	2	13	110	合金鋼	合金鋼	70	110	91
本発明T2 (神港精機社製)	DLC	2	—	22	240	合金鋼	合金鋼	70	110	91
本発明U2 (神港精機社製)	DLC	2	2	23	270	合金鋼	合金鋼	70	110	91

【0052】この実験においては、Si : 0.7~1.5重量%、Cr : 0.5~2.0重量%、Mo : 0.5~2.0重量%を含有し、表面に浸炭窒化処理を予め施

した耐熱仕様軸受用鋼からなりかつ内径が70mmの内輪と、内輪と同一材料で外径が110mmの外輪と、内輪と同一材料の転動体（転動体ピッチ径：91mm）と

をそれぞれ備えた複数の円筒ころ軸受を供試体として用いている。なお、保持器は外輪案内方式を採用している。

【0053】図12に示す実験においては、供試体としてのそれぞれの円筒ころ軸受の組込み時のラジアルすき間を $0\text{ }\mu\text{m}$ としてた。潤滑方法はNOKクリューパ社製のイソフレックスNBU15（封入量：軸受空間容積の10%）を潤滑材としたグリース潤滑を用いている。また、図12の縦軸の外輪温度上昇は、外輪外径面に熱電対34を接触させて外輪温度を計測した結果を外輪温度上昇（外輪温度-外気温度）に換算して示している。

【0054】図12に示す本発明R2は、円筒ころ軸受の内輪軌道面および鋼部端面に神戸製鋼所社製のUBMS装置504を用いてDLC膜を成膜したものである。図12に示す本発明S2は、円筒ころ軸受の内輪軌道面、鋼部端面および外輪軌道面に神戸製鋼所社製のUBMS装置504を用いてDLC膜を成膜したものである。

【0055】図12に示す本発明T2は、円筒ころ軸受の内輪軌道面および鋼部端面に神港精機社製のPIG式薄膜作製装置を用いてDLC膜を成膜したものである。図12に示す本発明U2は、円筒ころ軸受の内輪軌道面、鋼部端面および外輪軌道面に神港精機社製のPIG式薄膜作製装置を用いてDLC膜を成膜したものである。

【0056】図12に示す比較例B2は、DLC膜硬質被膜を施していない従来の円筒ころ軸受である。図12から、本発明品R2、S2、T2、U2は比較例B2に比べて温度上昇（外輪温度上昇）が低く、且つ、焼付き限界も高くなっていることが分かる。また本発明品R2、S2、T2、U2はいずれも略同等の性能を示しており、内輪（内輪軌道面と鋼部端面）のみにDLC膜の被膜処理を施しても円筒ころ軸受の高速化、低温度上昇化に対しては有効であることが分かる。

【0057】

* 【発明の効果】上記の説明から明らかなように、本発明によれば、低トルク化および低発熱化を実現できるのは勿論のこと、高速回転下での耐焼付性および耐摩耗性の向上を図ることができるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の一例であるアンギュラ玉軸受を説明するための説明的断面図である。

【図2】DLC膜の等価弾性係数と塑性変形硬さと破壊強度との関係を示すグラフ図である。

【図3】炭素、クロム、鉄の元素比率とDLC膜厚との関係を示すグラフ図である。

【図4】DLC膜の拡大断面図である。

【図5】本発明の他の実施の形態である円筒ころ軸受を説明するための説明的断面図である。

【図6】比較例および本発明例における軸回転速度と外輪温度上昇との関係を示すグラフ図である。

【図7】比較例および本発明例における軸回転速度と外輪温度上昇との関係を示すグラフ図である。

【図8】比較例および本発明例における軸回転速度と外輪温度上昇との関係を示すグラフ図である。

【図9】比較例および本発明例における軸回転速度と外輪温度上昇との関係を示すグラフ図である。

【図10】軸受回転試験機の概略図である。

【図11】比較例および本発明例における軸回転速度と外輪温度上昇との関係を示すグラフ図である。

【図12】比較例および本発明例における軸回転速度と外輪温度上昇との関係を示すグラフ図である。

【符号の説明】

10…アンギュラ玉軸受（高速回転用転がり軸受）

20…円筒ころ軸受（高速回転用転がり軸受）

11, 21…内輪

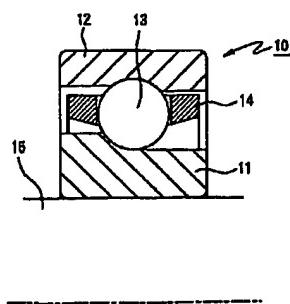
12, 22…外輪

13…玉（転動体）

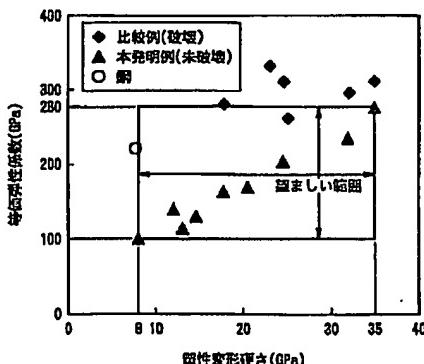
14, 24…保持器

23…ころ（転動体）

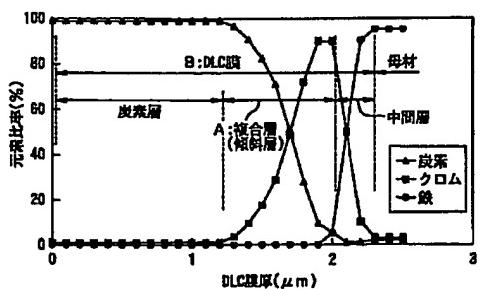
【図1】



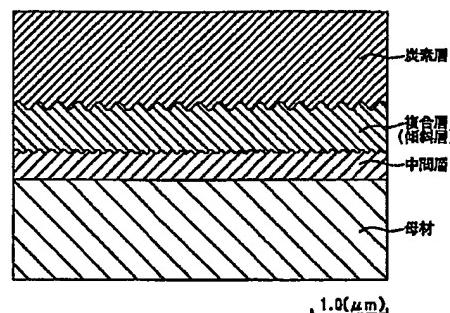
【図2】



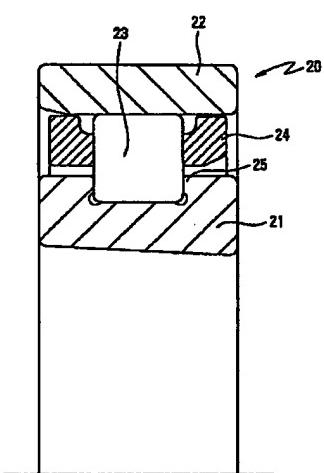
【図3】



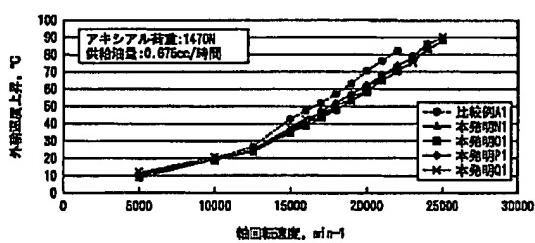
【図4】



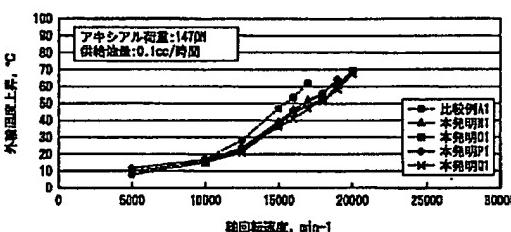
【図5】



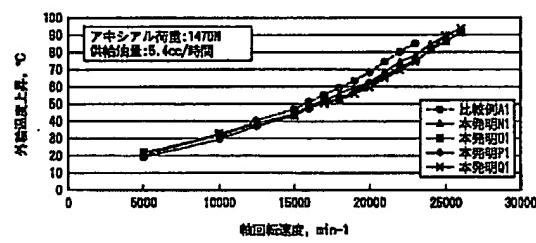
【図7】



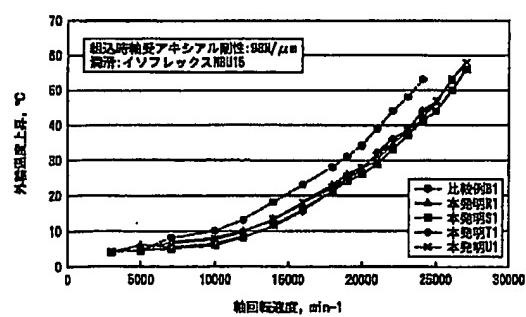
【図6】



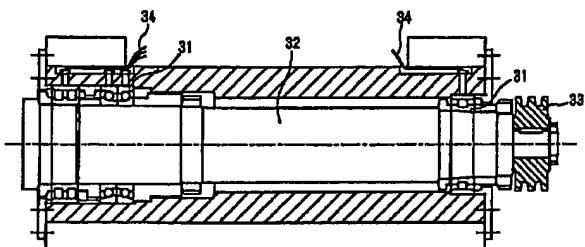
【図8】



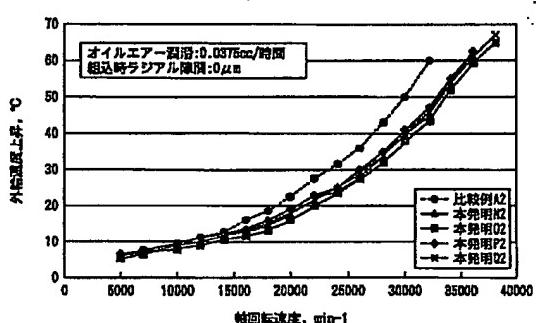
【図9】



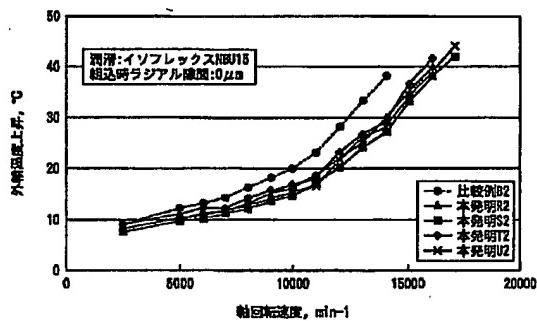
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷
// B 23 B 19/02

識別記号

F I
B 23 Q 1/26

マークド(参考)

D

(72)発明者 金野 大
神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号
日本精工株式会社内
(72)発明者 荒牧 宏敏
神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号
日本精工株式会社内

F ターム(参考) 3C011 FF06
3C045 FD12 FD18
3C048 BB14 CC04 DD13 EE02
3J101 AA02 AA32 AA54 AA62 BA10
BA50 BA70 DA05 EA03 EA44
EA63 EA78 FA31 FA33 FA60
GA31